

## Fém amely elpusztítja a szuper-baktériumokat

A baktériumok egyre veszélyesebbek lesznek, „hála” a hagyományos antibiotikumokkal szembeni rezisztencia egyre szélesebb körű kialakulásának. Új fegyverre van tehát szükség, és lehet hogy a tudósok meg is találták ezt a gallium nevű igen ritka fém alakjában. Egy új vizsgálat szerint a baktériumok könnyen összetéveszthetők ezt a fémet a táplálkozásukhoz nélkülözhetetlen vassal, és elpusztulnak, ha sokat vesznek fel belőle. Mivel a gallium már hatóságilag engedélyezett gyógyszer, a munka igen gyorsan piacra dobható mikrobaellenes gyógyszerek egy új csoportjához vezethet.

A gyógyszereknek ellenálló baktériumok között a *Pseudomonas aeruginosa* különösen kellemetlen. Az izomsorvadásban szenvedő páciensek között a halál leggyakoribb oka ez a baktériumfertőzés, amely a sebek lassú gyógyulását eredményezi, a testbe helyezett műszerek, például katéterek körül kialakuló elváltozásokat okoz, valamint a meggyengült immunrendszerű betegeket is megtámadja. A baktériumnak azonban van egy gyenge pontja, szüksége van vasra, hogy DNS-t tudjon szintetizálni, energiát termeljen, valamint védekezzen a mérgező oxidáció ellen.

Pradeep Singh, a Washington Egyetem, Seattle orvos-mikrobiológusa és társai ezt a tulajdonságot akarják kihasználni hogy ezt az igen ellenálló baktériumot

megfékezzék. A kutatócsoport az ezüstös gallium fém-mel próbálkozott, amely ionjainak mérete és töltésállapota igen hasonló a vaséhoz, de annak az életfunkcióját nem képes ellátni. Ha egy Petri-csészében *Pseudomonas aeruginosa* kolóniához kismennyiségű galliumot adtak, a baktériumszaporulat három nagyságrenddel csökkent. Az egereknél hasonló jelenséget figyeltek meg: igen kismennyiségű gallium naponta történő belelegzése jelentősen csökkentette a légúti fertőzések esélyét. Singh felhívta a figyelmet arra, hogy intravénásan adagolt gallium károsíthatja a vesét, ezért túl korai még a biztonságos emberi dózisiról beszélni. A fém ellen az antibiotikumokkal ellentétben nem alakul ki rezisztencia, mivel hatásmechanizmusuk igen széleskörű és változatos, ezért igen vonzó alternatívát jelent az antibiotikumokkal szemben. A kutatócsoport eredményeit a *Journal of Clinical Investigation* című szakfolyóiratban publikálta. Daniel Hassett, az University of Cincinnati, College of Medicine, biológusa szerint Singh és kollégái fontos felfedezést tettek: „Rendkívül izgalmas munka egy új antibakteriális gyógyszer kifejlesztésében.” A galliumot már használják a vér rák okozta magas kalciumszintjének kezelésére, ezért ez a körülmény meggyorsíthatja az új szer klinikai vizsgálatának lefolytatását.

(<http://sciencenow.sciencemag.org>)

## MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

### MITŐL SZÍNES AZ ÉLŐVILÁG?

Általában hajlamosak vagyunk arra, hogy ami mindennapi tapasztalat, azt egyszerűen természetes és magától értetődő dolognak tartjuk. Így van ez a színekkel is.

„A szín a természet mosolya, egy csöppnyi igazság” – mondta egy angol bölcs. És milyen igaza volt! Menynyivel kisebb élményt nyújt például a fekete-fehér televízió és film, mint a színes. Színek nélkül kiüresedne világunk. Talán fel sem tűnik, de *sárga* színnel ragyog a Nap, *kék* az ég és a tengerek színe, *vörös* vér kering az ereinkben, *zöld* színben pompáznak a lombok, hogy csak néhányat említsünk. Az egyes színekkel különböző érzelmi hatást is kiválthatunk. Más színű fényrel világítják meg az iskolai tantermet, mással a bárókat, a húsos pultokat az ételkészítésekben. Tárgyaink a megvilágító színtől függően más és más színűnek tűnnek, s bennünk is különböző hatásokat váltanak ki.

A történelem folyamán a színeknek szimbolikus jelentése is kialakult. Egy időben, Kínában sárga ruhát csak a császár hordhatott, mert a sárga a legmélyebb bölcsesség, a legteljesebb megvilágosodás jelképe volt. A gyászoló kínaiak fehérbe öltöztek, jelezve, hogy az elhunytat a tisztaság és a fény országába kísérik.

Mást jelentenek a színek a festőknek és a fizikusoknak, az irodalmároknak, a kémikusoknak, más a pszichológusoknak és az ipari formatervezőknek. A *színtan* a fizika és az orvosi szakkönyvek önálló fejezetévé vált. De művészek is könyveket töltenek meg a színekkel kapcsolatos ismereteikkel.

Mi a magyarázata annak, hogy az égboltot kéknek, a fűvet zöldnek, a paradicsomot pirosnak, a grafitot feketének látjuk? Mitől színesek a lepkék, a madarak? Hogy ilyen kérdésekre válaszolhassunk, segítségül kell hívnunk a fizikát, a kémiát, a biológiát.

### A színek

A szín mint jelenség csak részben függ fizikai-kémiai folyamatoktól. Függ a szem működésétől, s attól is, hogy mi megy végbe az agyban. A fény érzékelése összetett, *fotokémiai*, *idegi* és *pszichológiai* folyamatok eredménye. Az egészséges emberi szem színérzékelése rendkívül érzékeny, igen sokféle színárnyalatot képes megkülönböztetni.

A tudósokat már a régmúlt időkből érdekli a különböző színek eredete. Annak ellenére, hogy a mindennapi életből és tudományos kísérletekből is rendkívül sok tapasztalat gyűlt össze a színekről, az eredetükre vonatkozó kielégítő magyarázatra viszonylag sokáig, a XVII. századig kellett várni. *Newton* (1666) előtt a színek keletkezéséről igen sok, egymásnak ellentmondó magyarázat forgott közkézen. Igaz, már akkor észrevették, hogy a testek színe függ a megvilágítástól – ugyanaz a test a nap különböző szakában más színűnek látszott –, de a testek színét a testek tulajdonságának vélték.

A szivárvány jelenségét régről ismerik, sőt rögzítették kialakulásának körülményeit is. *Descartes* (1596–1650) szökökút szétporlasztott vízcseppein megfigyelt már mesterséges szivárványt is, sőt ő maga, a vízcseppet vízzel telt gömb alakú üvegedénnyel modellezve, a szivárvány színeit kísérletileg is tanulmányozta. Ennek ellenére a színek keletkezése, azok sorrendjének oka még akkor sem volt világos.

*Newton* távcső készítése közben figyelmes lett a lencsék karimáján vetítéskor megfigyelhető elszíneződésre, ami érdeklődését a színek tanulmányozásának irányába fordította. Besötétített szobába vékony nyíláson beszűrődő fény útjába prizmat helyezett, s a szemközi falon színes csíkok tűntek fel, elsőként állított elő tehát színeképet. A *spektrum* elnevezés is tőle származik. A színeképet azt is bizonyította, hogy a *fehér fény színes fény keveréke*. Megállapította, hogy a prizma a különböző színű fénysugarakat különböző módon töri meg (a jelenséget *diszperzió*nak nevezzük), s ha azokat lencsével újra összegyűjtjük, ismét fehér fényt kapunk. A spektrum színei tovább már nem bonthatók.

*Newton* alapvető kísérlete két fontos felfedezést tartalmazott:

1) adott közegben a közeg törésmutatója a különböző színű fénysugarakra más és más,

2) a fehér fény egyszerű színekből összetett fény.

A körülöttünk lévő dolgokat vagy azért látjuk, mert maguk világítanak, vagy azért, mert megvilágítottuk őket. A testek a rájuk eső fény egy részét *visszaverik* (*reflexió*), a többit *átengedik* (*transzmisszió*) vagy *elnyelik* (*abszorpció*). E három folyamat egymáshoz viszonyított mértéke határozza meg az önállóan nem világító testek színét. A *fekete* színű test például a fény hullámhosszától függetlenül minden fényt elnyel, az áttetsző *fehér* test pedig szinte mindent visszaver. Ha a fehér fényből valamilyen oknál fogva hiányzik az egyik összetevő, akkor a megvilágított test a hiányzó szín *kiegészítő* (*komplementer*) színében látszik.

## Hogyan állíthatunk elő színeket?

A fény és anyag kölcsönhatásakor az anyagnak adott energia függ a fény színétől, a frekvenciájától. Ha atom vagy molekula nyel el fénykvantumot, megváltozik a magok és elektronok kölcsönös elrendeződése, megnövekszik a rendszer energiája. Abból a tényből, hogy a molekula akármilyen energiát nem vehet fel, arra következtethetünk, hogy a magok, és

az elektronok rendszere nem lehet tetszőleges állapotban. Energiájuk csak meghatározott adagokban, *kvantumosan* változhat. A rendszernek az állapotváltozáshoz pontosan meghatározott energiára van szüksége, s ha ez nem túl nagy energiaadag, akkor elnyelheti a fényből is. Ha megtörténik az elnyelés, akkor az atom (vagy molekula) „gerjesztett” állapotba kerül.

Egy egyszerű mechanikai rendszer, a *rezgő húr* is hasonlóan viselkedik. A kifeszített, mindkét végén rögzített húron állandósult hullámok, *állóhullámok* alakulnak ki. A rezgő húrnak is sokféle állandósult állapota lehet, de nem akármilyen. A rezgő húr is „kvantumos”. A „sokféle, de nem akármilyen állapot” lehetősége miatt a rezgő húr az atomok és a molekulák, vagyis az atommagokból és elektronokból álló rendszerek kitűnő modellje.

Ha gondolatban egy elektront egy *L* hosszúságú, minden erőhatástól mentes „egydimenziós dobozba” zárunk, akkor az elektron mozgásához egy vonalszakasz áll rendelkezésre. Az elektron az egydimenziós dobozban szabad, rá semmiféle vonzó vagy tasztóerő nem hat, helyzeti energiája nincsen. Változhat viszont a mozgási energiája. Az elektron energiájának az elektron úgynevezett de Broglie-hullámhosszával való kapcsolata lehetőséget ad arra, hogy összekapcsoljuk az elektron *lehetséges állapotait* a *húrmodell*el. Ahogy az *L* hosszúságú húron csak olyan mozgásállapotok alakulhatnak ki, amelyekre igaz, hogy a hullámhossz felének egész számú többszöröse adja a húr *L* hosszát, úgy az *L* hosszúságú vonaldarabra beszorított elektron mozgási energiája is meghatározott adagokban változhat. Az energiaadag nagysága fordítottan arányos a doboz *L* hosszával. Ez azt jelenti, hogy ha az elektron mozgásához *kellően nagy térrész* áll rendelkezésre, akkor energiáját *kis adagokban* változtathatja. Az ilyen „rendszer” már a *látható fény* viszonylag kis energiájú fotonjaival is gerjeszthető, s ha azokat elnyeli, akkor a fehér fény kiegészítő színében látszik. Ez a modell sikeresen használható festékek „színezésének” megértéséhez.

## Festékek a növény- és állatvilágban

Az élő természet rengeteg színárnyalatát mindössze háromféle vegyülettípus kialakulása, kölcsönhatása és bomlása okozza. Ezek a *karotinoidok*, *porfirinek* és *flavonoidok*. A színek eredetének elemzéséhez ezért segítségül kell hívnunk a kémiát. A teljesség igénye nélkül mutatunk néhány példát a környezetünkben ismert élővilágból minden vegyülettípusra.

A karotinoidok okozzák például az árvácska, a pitypang virágjának, a sárgarigó és a kanári tollának, a homár páncéljának a színét. (A hátsó belső borítón néhány képpel illusztráljuk az élő természet sokszínűségét az írásban szereplő növények, állatok segítségével.) A sárgarépa festékanyaga a *karotin* mellett a vegyületcsoport egyik legismertebb tagja a *likopin*. Likopin legnagyobb mennyiségben a paradicsomban

van, de kevesebb található a csipkebogyóban, a görögdióban és más gyümölcsökben is. Ez a vegyület felelős a piros színért.

Valamennyi porfirin jellegű festékanyag alapját a *porfin* nevű gyűrűs vegyület képezi. A porfirinek két legfontosabb képviselője a *hem* és a *klorofill*. A hem a vér oxigénszállító molekulája vörös festékanyagának, a *hemoglobinnak* a nem fehérjetermészetű része. A gyűrű középpontjában egy darab két vegyértékű vasatom van, amely a porfinváz két hidrogénatomját helyettesíti, és a gyűrűkhöz különböző oldalláncokkal kapcsolódik. A növények zöld színéért a klorofill a felelős, ebben a molekulában a porfingyűrű közepén magnéziumatom található.

A legtöbb virág és gyümölcs a színét a flavonoidoknak köszönheti. A *flavon* sárgára színezi, a növények vörös, kék, bordó és ibolya színét pedig az *antociánok* okozzák. Az antociánok olyan vegyületek, amelyek egy színes flavonoid részből és egy színtelen cukorrészből állnak. Az antociánok a közeg pH-jától függően változtatják szerkezetüket és ennélfogva a színüket is. Ugyanaz a vegyület, amely savas közegben (pH = 3) piros, lúgos közeg (pH = 11) esetén kék, adja a vörös rózsza és a kék búzavirág színét. Csodálkozunk azon, ha a tavaly még kék jácint a következő évben vörös színű virágot hoz. A magyarázat egyszerű. Ha a hangyák véletlenül tartósan a jácint hagymája körül vernek tanyát, akkor a hangyasavval savanyított talaj a színekért felelős molekulában szerkezeti változást idézhet elő. A megváltozott szerkezetű molekulák a növény szirmára eső fehér fényből már másik összetevőt nyelnek el, így más kiegészítő szín mutatkozik. A kertészek ilyen módon a legváltozatosabb színű virágokat állíthatják elő, például megfelelő sókat a talajba keverve, mélyen beavatkozhatnak a természet munkájába.

Vajon mi a közös e szerkezetekben?

Ismeretes, hogy a molekulákban az elektronok  $\sigma$ - és  $\pi$ -kötő, lazító és nem-kötő molekulapályákon tartózkodnak. Mindhárom említett szerves molekulatípusban a molekulában úgynevezett konjugált kettőskötésekkel szemléltethető elektronrendezés található. A molekula lehet lineáris (karotin), de a szénatomok záródhatnak gyűrűvé is (klorofill). Vagy együtt tartalmazhatnak hosszabb lineáris szakaszokat és a láncvégeken záródó gyűrűs elemeket is. Az ilyen molekulákban vannak olyan elektronok (delokalizált elektronok), amelyek mozgása a teljes molekulaméretre kiterjedhet. A molekula hosszában mozgó „szabad” elektronok állapota, és a két végén rögzített  $L$  hosszúságú húr mérete és állapotai között párhuzamot vonhatunk. A fentiekben már említett okok miatt a hosszabb molekulában az elektronok energiája kisebb adagokban változhat, a molekula kisebb frekvenciájú fény elnyelésére képes. Például a karotinoidok családjába tartozó, fokozatosan növekvő számú szénatomot tartalmazó molekulák színe a sárgától a vörös felé változik. A sárgarépa színe, a karotin a kék színű fény, a paradicsom vörös színe, a likopin pedig a zöldessárga színű fény elnyelésével alakul ki. A

piros paprika színéért felelős *kapszorubin* molekulában is olyan hosszúságú konjugált lánc található, amely a zöld fény elnyelését teszi lehetővé, a paprikát a zöld szín kiegészítő színében, pirosnak látjuk.

## A látás és a színérzet

A karotinhoz nagyon hasonló szerkezetű molekulát, a *retinált* (hosszúsága fele a karotinének) használja szemünk a fény felfogására, melyhez a szem a hasonló szerkezetű A-vitaminből jut hozzá. (Ezért okoz az A-vitamin hiánya szürkületi vakságot). A szemünkbe érkező fénysugár a különböző színérzékenyséű csapokban (3-féle csap) eltérő erősségű elektromos jelet, idegáramot idéz elő. Az idegáram-erősségek aránya minden sugárzás esetén más és más, s az agyban minden egyes arány esetén más színérzet alakul ki. Ha a fényinger egyforma erősen hat mind a háromféle csapra, akkor fehér fényt észlelünk. A vörös fény a vörösre érzékeny csapokban erősebb idegáramot kelt, így vörös színérzet keletkezik. Ha a fényinger egyforma erősen hat a vörösre és a zöldre érzékeny csapokra, akkor sárga színt látunk. Ily módon valamennyi szín a *vörös*, a *zöld* és a *kék* keverésével áll elő. Ezért nevezzük az egészséges színlátást háromszínűnek, *trikromatikusnak*, és ezért kell háromszínű (RGB) jel a színes megjelenítők működtetéséhez.

## Szerkezeti színek az élővilágban

A színek a biológiai rendszerekben, a madarak és rovarok világában gyakran festékszemszékben, *pigmentek*ben keletkeznek, a „kémiai színezés”-nél megismert hullámhosszfüggő fényelnyelés útján. Bizonyos esetekben azonban a színek keletkezése a fény egy meghatározott *szerkezet*en történő szelektív szóródásának, interferenciájának, illetve diffrakciójának következménye, ezért ezeket *szerkezeti* vagy *struktúraszínek*nek nevezzük.

A természetben gyakran a különböző színezési lehetőségek kombinálása figyelhető meg. A továbbiakban néhány példát mutatunk a szerkezeti színeket „viselő” élőlényekre.

A *fényszórás* játszik szerepet a kék színnek a kialakításában a kékszajkó, a kék szem (pl. a sziámi macskáé), a kékszilva, a kökény esetén. A *fényinterferencia* felelős azoknak a színeknek a kialakításáért, amelyek változnak a megfigyelés irányának (szögének) változtatásával, s fémes jellegűek. E színeket *irizáló színek*nek hívjuk. A kagylóhéjak szivárvány játéka, a kolibri ragyogó színei, a pávatoll színének változása, és néhány Dél-Amerikában élő lepkefaj (*Morpho*-család) metáلكék színei a legjobb példák e megoldásra. A *fényelhajlás* a CD-lemezen élénk spektrum megjelenését eredményezi, hasonlóan alakul az indigókígyó színe is bőre finomszerkezetén, amely kétdimenziós reflexiós diffrakciós rácsként működik.

Rajkovits Zsuzsanna  
ELTE Anyagfizikai Tanszék